Vol.11, No.3, Fall 2022, pp.67-84 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.74999.1166 Open access

Predicting Changes in Stream Path and Morphology of Gorganrood River with an Emphasis on Flooding

Hamidreza Masoumi[a*], Alireza Habibi[b], Mohammadreza Parsamehr[c]

[a] *Assistant Professor,Department of Geology, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, Bandar Abbas, Iran*
[b] *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran*
[c] *Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran*

Received: 30 December 2021 ***Revised: 9 February 2022*** ***Accepted: 18 February 2022***

Abstract

In recent years, the occurrence of several destructive floods in the southeastern plain of the Caspian Sea, caused by the flood of the Gorganrood River, has caused many casualties and damage. Predicting the future morphological conditions of the river and its surroundings is one of the essential factors in planning and arranging the coastal plains. Landsat 5, 7, and 8 satellite images of 1987, 2002, and 2018, with field studies, software studies, and CA Markov automated cells model were used in this research. The accuracy of the modeling was confirmed using random ground control points. Moreover, the reaction of the river canal at the flood events was examined based on the satellite image of April 3, 2019. The results showed that the most probable changes in the study area are in river, plains, and man-made facilities units around Voshmgir Dam Lake. Also, the very low hydraulic slope of Gorganrood in the downstream areas of Voshmigir Dam prevents the rapid evacuation of floods and creates a reverse flow and flooding of the surrounding lands. This phenomenon causes the Gorganrood flood and Qarasoo tributaries to interfere in the area between Salagh-Yelghi and Aq Qala. Therefore, increasing the height level of the river shores between the tributaries of Gorganrood and Qarasoo can prevent the flow of interference in them and reduce the risk of flooding of the Qarasoo around lands. Due to water flooding and flood transmission through abandoned canals of Gorganrood in the northern lands of Aq Qala to Siminshahr, the construction of an emergency flood drainage canal through abandoned canals can be a permanent solution to control floods in these areas.

Keywords: Flood, Satellite Imagery, Automated Cell Model, Remote Sensing Studies, Gorganrood

*. Corresponding author: Hamidreza Masoumi E-mail: h.masoumi@iauba.ac.ir Tel: +989356161958
How to cite this Article: Masoumi, H., Habibi, A., & Parsamehr, M. (2022). Predicting changes in stream path and morphology of Gorganrood river with an emphasis on flooding. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(2), 67-84.
DOI:10.22067/geoeh.2022.74999.1166

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74999.1166

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۸۴-۶۷

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تأکید بر سیل‌خیزی

حمیدرضا معصومی[۱]- استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
علیرضا حبیبی - محقق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
محمدرضا پارسامهر- محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر، وقوع چندین مورد سیل مخرب در دشت جنوب شرقی دریای خزر، ناشی از طغیان آب گرگانرود، موجب تلفات و خسارات فراوانی شده است. پیش‌بینی شرایط آینده مورفولوژیک رودخانه و محیط‌های پیرامون آن از عوامل ضروری در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی است. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های، ۱۹۸۷،۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، همراه با بررسی‌های میدانی، مطالعات نرم‌افزاری و مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار به‌عنوان ابزار تحقیق بهره گرفته شد. صحت مدلسازی با استفاده از نقاط کنترل زمینی تصادفی مورد تأیید قرار گرفت. همچنین نحوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب براساس تصویر ماهواره‌ای سوم آوریل ۲۰۱۹ موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین احتمال تغییرات در منطقه مطالعه در واحدهای رودخانه، دشت و تأسیسات ساخت انسان پیرامون دریاچه سد وشمگیر وجود دارد. همچنین شیب هیدرولیکی بسیار کم گرگانرود در نواحی پایین‌دست سد وشمگیر، موجب عدم تخلیه سریع سیلاب و ایجاد جریان دبی معکوس و طغیان آب به اراضی پیرامون آن است. این پدیده موجب تداخل سیلاب گرگانرود و سرشاخه‌های قره‌سو در محدوده بین سلاق یلقی و آق‌قلا می‌شود. لذا افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های بین

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۶۱۶۱۹۵۸ Email: h.masoumi@iauba.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

معصومی، حمیدرضا؛ حبیبی، علیرضا؛ پارسامهر، محمدرضا. (۱۴۰۱). پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تاکید بر سیل خیزی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۸۴-۶۷
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74999.1166

سرشاخه‌های گرگانرود و قره‌سو می‌تواند از تداخل جریان در آن‌ها جلوگیری نموده و سبب کاهش مخاطره سیل‌گیری اراضی پیرامون قره‌سو شود. با توجه به طغیان آب و انتقال سیلاب از طریق کانال‌های متروک گرگانرود در اراضی شمال آق‌قلا تا سیمین شهر، احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب از مسیر کانال‌های متروک، می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در این مناطق باشد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای، مدل سلول‌های خودکار، مطالعات سنجش‌ازدور، گرگانرود.

۱- مقدمه

مردم در سراسر جهان همه روزه با وقایعی روبرو می‌شوند که منجر به مرگ، آسیب، تخریب اموال و اختلال در فعالیت‌های روزانه آن‌ها می‌شود. سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی از دیرباز جوامع روستایی و شهری را مورد تهدید و هجوم قرار داده و جوامع بشری فارغ از هرگونه پیشرفت در زمینه‌های مختلف، همواره دغدغه‌ی تهدیدات سیلاب را به‌عنوان چالشی بزرگ پیش رو داشته‌اند. استان گلستان در جنوب شرقی دریای خزر، طی سال‌های اخیر، شاهد وقوع چندین مورد سیل مخرب بوده که موجب تلفات انسانی و خسارات اقتصادی فراوانی گردیده است. رودخانه گرگانرود یکی از مهم‌ترین رودهای سیل‌خیز استان گلستان است.

فعالیت‌های انسانی با تغییر در رژیم جریان و رسوب، می‌تواند تغییراتی را در پارامترهای مورفولوژی رودخانه به وجود آورد (موریس و همکاران[1]، ۲۰۱۶). بارش‌های شدید و جاری شدن آب از بالادست، لایروبی نشدن رودخانه‌ها، تغییر در کانال رود و کم شدن فضای آبگذری نسبت به حجم آب ورودی به هنگام بارندگی، از عوامل وقوع سیلاب در رودخانه‌های مناطق ساحلی هستند. در این میان اهمیت مطالعات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و بررسی عکس‌العمل رودخانه در برابر فرایندهای تغییر دهنده برقراری موازنه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (میرزایی‌زاده و همکاران[2]، ۲۰۱۵). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان، برای تهیه نقشه است (پال و مدر[3]، ۲۰۰۵). یکی از روش‌های شبیه‌سازی تغییرات در گذر زمان، مدل ترکیبی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار[4] است. با استفاده از این مدل، نسبت تبدیل کاربری‌ها و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (مولر و میدلتون[5]، ۱۹۹۴). بدین ترتیب با استفاده از تغییرات روی داده در گذر زمان می‌توان آینده را پیش‌بینی کرد. در سال‌های اخیر رهیافت‌های مفهومی مختلفی از سلول خودکار و تحلیل زنجیره مارکف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین ارائه شده است (سوبدی و همکاران[6]، ۲۰۱۳). موندال و همکاران[7] (۲۰۲۰)، در تحقیقی تأثیر

1 Morais et al
2 Mirzaeizadeh et al
3 Pal and Mather
4 Cellular Automation- CA
5 Muller and Middleton
6 Subedi et al
7 Mondal et al

فیلترهای سازگار با مدل سلول خودکار مارکف را بر نتایج پیش‌بینی تغییر سرزمین بررسی نموده و نتیجه گرفته‌اند که ضریب همبستگی (r) برای فیلترهای ٥x٥ بیشترین تأثیر را در توزیع جغرافیایی/ مکانی داشته است. مدل و همکاران[1] (٢٠٢٠) به بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در کانال رودخانه دشت‌های ساحلی پرداخته و نقش بهره‌گیری از کانال‌های آنابرانچ برای پایدارسازی کانال رودخانه پرداخته‌اند. معصومی و همکاران (١٤٠٠) به پیش‌بینی تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها در منطقه دشتیاری در کرانه‌های ساحلی دریای عمان پرداخته و عملکرد آن‌ها را طی وقوع رخداد سیلاب موردبررسی قرار داده‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که سطح مخاطره سیل در پهنه‌های سیلابی منطقه ساحلی دشتیاری بالا بوده، نیازمند عملیات تخصصی کنترل سیلاب از خروجی کوهستان تا خط ساحل است. معصومی و همکاران (١٤٠٠) مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر در تغییرات مسیر جریان رودخانه سفیدرود را موردبررسی قرار داده و با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار روند تغییرات مسیر کانال را با توجه به عوامل هیدرولیکی رود و تغییرات تراز آب دریای خزر برای سال ٢٠٣٠ پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی، بیان داشته‌اند که روند تغییرات تراز آب دریای خزر، تا سال ٢٠٣٠ به سطح بالاتر از ٢٧- متر خواهد رسید.

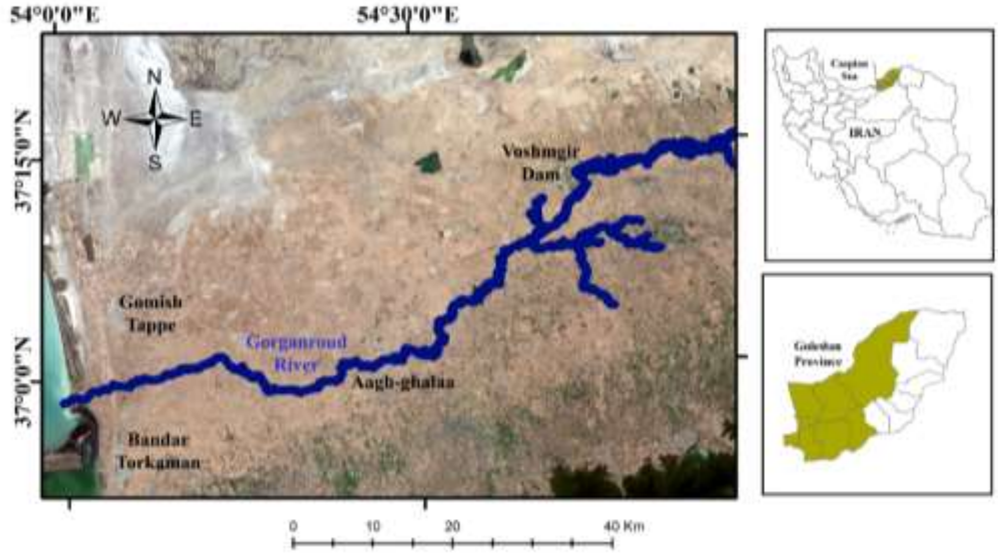
با توجه به اهمیت موضوع سیلاب و عملکرد متقابل فرایندهای مؤثر در آن، شناخت این فرایندها اولین گام در تحلیل رویداد و اثرات محیطی پیرامون آن است. بر این اساس با توجه به اهمیت موضوع از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و... شناخت تغییرات رودخانه در طی زمان و فرآیندهای مؤثر از اصلی‌ترین عوامل در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای آینده است. این شناخت با استفاده از تکنیک‌های مدل‌های آماری قابلیت پیش‌بینی در بازه‌های زمانی آینده را نیز دارند. با توجه به تعدد وقوع رویداد سیلاب در گرگانرود، شناسایی رفتار رودخانه و پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی آن، می‌تواند کمک شایانی به کنترل سیلاب اراضی پیرامون و برنامه‌ریزی در جهت عملیاتی نمودن راهکارهایی برای ایمن‌سازی این اراضی در زمان سیلاب نماید. گنجی و همکاران (١٤٠٠) معیارهای مؤثر در سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود در محدوده شهرستان آق‌قلا را با استفاده از روش آماری سلسله‌مراتبی AHP بررسی نموده‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که دیواره‌سازی و تثبیت قوس خارجی پیچان‌رودها در محدوده روستاهای سلاق‌یلقی تا قانقرمه، لایروبی رودخانه در نزدیکی پل‌ها، تغییر کاربری اراضی متجاوز به حریم رودخانه، لایروبی و بسترسازی مناسب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود و زهکشی و کانال‌کشی مناسب با شرایط توپوگرافی مناطق مرکزی شهرستان از اقداماتی است که به کاهش خطر سیل در شهرستان آق‌قلا کمک می‌نماید. مصفایی و همکاران (١٣٩٩) در نشریه فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارشی از رویداد سیل نوروز ١٣٩٨ استان گلستان را ارائه نموده و عدم مدیریت صحیح مخازن سدهای بالادست و سرعت کم تخلیه جریان در کانال گرگانرود را ازجمله

1 Medel et al

عوامل مؤثر در وقوع این سیل دانسته‌اند. بیت الهی (۱۳۹۸) در گزارش مطالعاتی، به بررسی دلایل وقوع سیلاب ۱۳۹۷–۹۸ در استان گلستان پرداخته و نقش عوامل مختلف تأثیرگذار و تأثیرپذیر در این رخداد را مورد تحلیل قرار داده است. کاردان و همکاران (۱۳۹٦) این نکته را در مدلسازی دوبعدی سیلاب برای آق‌قلا ذکر کرده‌اند که در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، احتمال آب‌گرفتگی و خطر سیلاب بخش عمده‌ای از آق‌قلا را می‌تواند در برگیرد. مزیدی و خوش روش (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر تعدد رویداد سیل در حوضه گرگانرود را با استفاده از مدل هیدرولوژیک بارش– رواناب موردبررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که علی‌رغم کاهش در متوسط بارش، تعداد بارش‌های حدی بیشتر خواهد شد. این امر نشان دهنده افزایش مخاطره سیلاب از نظر تعداد و شدت در آینده خواهد بود. در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، میدانی و آماری، مدل تلفیقی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار، و نتایج تحقیقات گذشته تغییرات مورفولوژی گرگانرود و عوامل محیطی مؤثر بر آن بررسی شده و روند تغییرات و عوامل تأثیرگذار، برای افق سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. همچنین عملکرد پارامترهای مورفولوژیکی و مؤثر طی رخداد سیلاب مورد تحلیل قرار گرفته است.

۲– محدوده جغرافیایی تحقیق

این تحقیق بر پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و عملکرد جریان رود در هنگام وقوع سیلاب در رودخانه گرگانرود متمرکز شده است. گرگانرود با طولی در حدود ۳۲۵ کیلومتر و حوضه آبریزی به وسعت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد (یوسفی، ۱۳۸٤). جهت عمومی جریان آب این رودخانه از شرق به غرب بوده و سرشاخه‌های البرزی آن از جنوب به شمال جریان دارند. این رود پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس و آق‌قلا در غرب خواجه نفس در دلتای گرگانرود به دریای خزر می‌ریزد. محدوده مطالعه از ۲۰ کیلومتری بالادست سد وشمگیر تا مصب رودخانه در حدود '۵۹ °۳٦ تا '۱۵ °۳۷ شمالی و '۰۰ °۵٤ تا '۵۹ °۵٤ شرقی را دربر می‌گیرد (شکل ۱). تاکنون چهار سد در بر روی گرگانرود احداث شده که سد وشمگیر و مخازن اصلی و فرعی آن در محدوده این تحقیق واقع شده است. این منطقه بخشی از دشت کم شیب شرق دریای خزر را شامل می‌شود. واحدهای چینه شناختی پلیوسن و کواترنری دشت گرگان شامل سازند آقچه گیل، نهشته‌های مارنی پلیستوسن پیشین، لس‌ها، نهشته‌های گرگانرود، نهشته‌های تبخیری، نهشته‌های برخان‌ها و نهشته‌های آبرفتی– دریاچه‌ای می‌باشند. ویژگی‌های رسوب‌شناسی و چینه نگاشتی این واحدها نشان می‌دهد فرسایش و نهشته‌گذاری در دشت گرگان حاصل اندرکنش فرایندهای رودخانه‌ای دریایی، دریاچه‌ای و بادی است که با تغییرات اقلیمی، فرایندهای زمین ساختی و تغییرات تراز دریای خزر کنترل می‌شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸٦).



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود، از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات میدانی و مدل‌های نرم‌افزاری استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های ۱۹۸۷،۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ با دقت مکانی ۳۰ متر و فصل تصویربرداری مشابه، مبنای مطالعات سنجش‌ازدور می‌باشند. همچنین به‌منظور بررسی شیوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به زمان سیلاب تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۷، (تاریخ تصویر سوم آوریل ۲۰۱۹ یا ١٤ فروردین ۱۳۹۸) استفاده شد (جدول ۱). پردازش اولیه تصاویر در نرم‌افزار Envi 5.3 انجام شد. در این مرحله تصحیحات رادیومتری و اتمسفری به روش Quick بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید.

پس از انجام تصحیحات، طبقه‌بندی تصاویر با روش طبقه‌بندی نظارت شده[1] در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 صورت گرفت و نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی کانال رودخانه تهیه شده است. در این نقشه واحدهای کانال رودخانه، سازه‌های ساخت انسان و سکونتگاه‌ها، اراضی جنگلی، دریا و دشت تفکیک شده‌اند. این نقشه‌ها در هر سه دوره تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است.

1 Maximum Likelihood Classification

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در پژوهش

باندهای مورداستفاده	تاریخ تصویربرداری	مشخصات تصویر
1-2-3-4-5-7	1987.06.14	LANDSAT- LT05_163-034
1-2-3-4-5-7	2002.07.17	LANDSAT-LE07_163-034
MTL-Multispectral	2018.07.05	LANDSAT_LC08_163-034
MTL-Multispectral	2019.04.03	LANDSAT_LC08_163-034

به‌منظور پیش‌بینی و مدلسازی، نقشه‌های سه دوره، به محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet وارد شد. ابتدا براساس نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ با استفاده از روش تلفیقی زنجیره‌های مارکوف و مدل سلول‌های خودکار به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ پرداخته شد. زنجیره مارکف مجموعه‌ای از وضعیت‌های احتمالی را بیان می‌کند که از یک وضعیت آغاز شده و به‌صورت پیوسته به وضعیت دیگر تغییر می‌کند (ژانگ و همکاران[1]، ۲۰۱۵). مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار عاملی است که تغییر وضعیت هر سلول را بر اساس قانون تعیین وضعیت جدید، مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت سلول‌های مجاور، نشان می‌دهد. در این مدل از فیلتر CA برای توسعه یک فاکتور وزندهی- مجاورت مکانی، برای تغییر وضعیت سلول بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده می‌شود (سانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۱)؛ بنابراین برای افزایش دقت پیش‌بینی مدل، از این روش تلفیقی استفاده شده است. لذا براساس داده‌های خروجی مدل مارکف، نقشه نهایی پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکف سال ۲۰۱۸ استخراج گردید و ضریب کاپای مربوطه محاسبه شد. ضریب کاپا یک معیار صحت سنجی طبقه‌بندی بوده است. سپس خروجی مدل با نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ برازش داده شد و بازه‌های مغایر بین آن‌ها به دست آمد. به‌منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدلسازی، ۳۷۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی به‌صورت پیش‌فرض در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 تعیین شد و با واقعیت مکانی در منطقه موردمطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت (جدول ۳) همچنین تراز ارتفاعی نقاطی که منطبق بر کانال رودخانه بودند، جهت ترسیم نیمرخ طولی کانال رود برداشت شد. با استفاده از داده‌های ارتفاعی برداشت شده، نیمرخ طولی گرگانرود از یلمه سالیان با تراز ارتفاعی ۷+ تا مصب رودخانه با تراز ارتفاعی ۲۷- با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel ترسیم شد. با توجه به دقت و صحت خروجی مدل، با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شد. این نقشه با برازش خروجی مدل برای سال ۲۰۳۰ و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده از این برازش، مناطق دارای پتانسیل تغییرات شدید در مسیر رودخانه شناسایی شد. به‌منظور بررسی شیوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب با استفاده از

1 Zhang et al
2 Sang et al

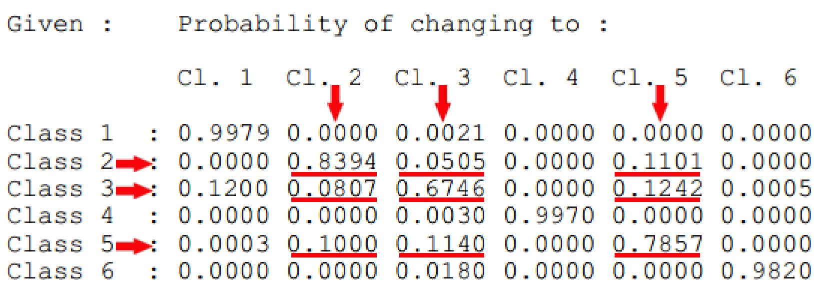
تصـویر ماهواره‌ای لندســت ۸ مربوط به زمان ســیلاب پهنه‌های متأثر از ســیل در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 در دشت گرگانرود، تفکیک شد. درنهایت عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب، با استناد به نتایج این پژوهش و تحقیقات بیت الهی (۱۳۹۸)، مصفایی و همکاران (۱۳۹۹) و گنجی و همکاران (۱۳۹۹) مورد تدقیق قرار گرفته و تأثیر مورفولوژی رودخـانـه و تغییرات آن در بـازه زمـانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ و روند آتی آن تا ۲۰۳۰ مورد تحلیل قرار گرفته است.

٤- نتایج و بحث

با پردازش و طبقه‌بندی تصـاویر در نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4.1 نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سـه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه شـد (شـکل ۳). در این نقشـه‌ها واحدهای کانال رودخانه (شامل کانال و بستر رود)، سـازه‌های ساخت انسان (شامل سکونتگاه‌ها، سازه‌ها و ابنیه مختلف)، جنگل، دریا و دشت (پهنه‌های زراعی و غیر زراعی) تفکیک شـده‌اند. مسـاحت واحدهای طبقه‌بندی شـده در هر سه دوره محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است (جدول۲).

جدول ۲- مساحت واحدهای تفکیک شده در نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه (هکتار)

تصویر ماهواره‌ای / واحد طبقه‌بندی	۲۰۱۸	۲۰۰۲	۱۹۸۷
کانال رودخانه	۲۱۰۴/۸	۲۲۳۶/۸	۲۰۹۶/۲
تأسیسات ساخت انسان	۱۰۵۹۶/۷	۱۰۳۵۸/۶	۱۰۲۶۱/۰
جنگل	۱۳۲۳۱/۶	۱۳۲۹۹/۱	۱۳۳۳۳/۹
دشت	۴۹۳۹۲۹/۴	۴۸۲۷۰۱/۱	۴۹۴۵۷۱/۵

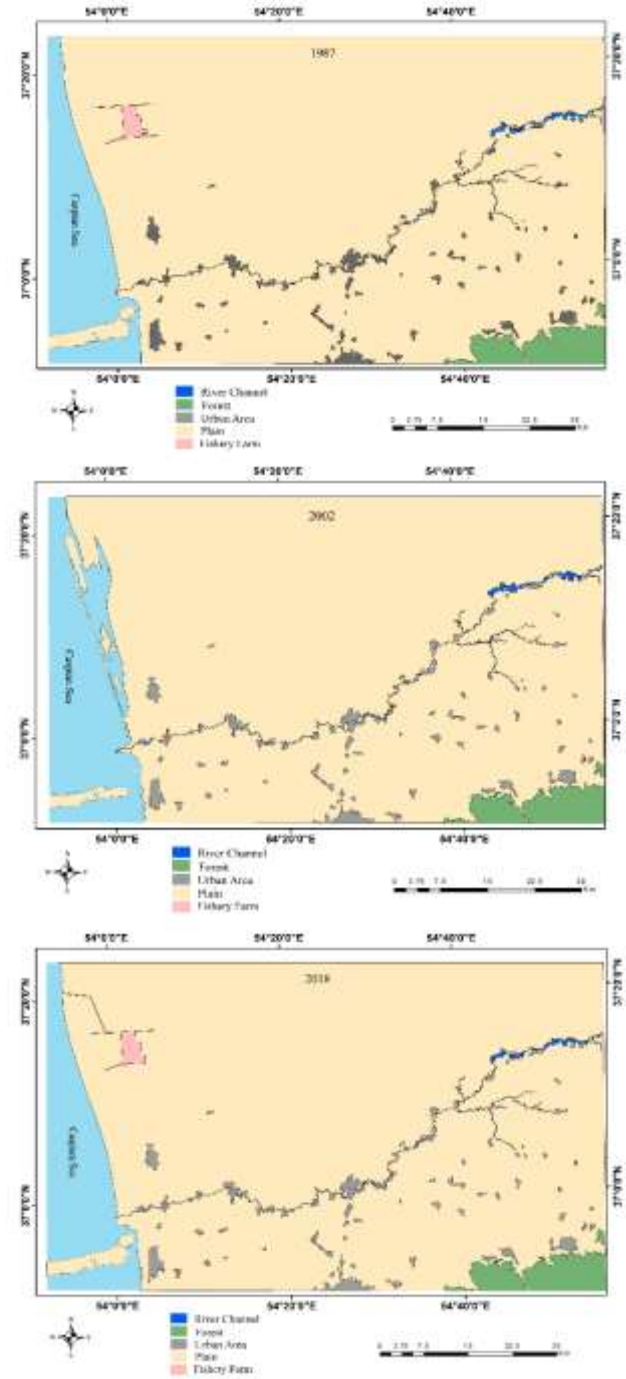


شکل ۲- ماتریس خروجی مدل مارکف برای تغییرات سال ۲۰۱۸

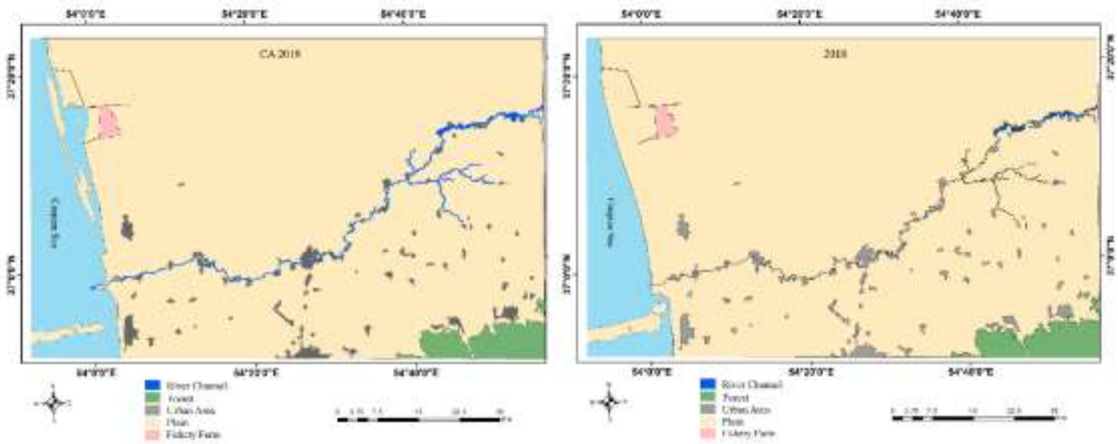
پیش‌بینی و مدل‌سازی، در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet انجام شد. ابتدا با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ ماتریس مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف به دست آمد (شکل۳). در این ماتریس مقادیر احتمال تغییرات واحدهای رودخانه (Cl.5)، تأسیسات ساخت انسان (Cl.2) و دشت (Cl.3) به یکدیگر مشخص شده است. براین اساس بیشترین احتمال وقوع تغییرات بین واحدهای رودخانه و دشت به میزان ۱۲/۵ درصد حاصل شده است (شکل ۲).

با توجه به امکان توصیف مکانی در قالب نقشه، از مدل CA مارکف استفاده شد و نقشه بیش بینی سلول خودکار سال ۲۰۱۸ و ضریب کاپای مربوطه استخراج گردید. بر این اساس تشابه مشهودی بین خروجی مدل و نقشه طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ مشاهده شد (شکل ٤). همچنین ضریب کاپای حاصل شده برای واحدهای رودخانه، تأسیسات ساخت انسان و دشت به ترتیب ۹٦/۹۹ ٪، ۹۹/۸٦٪ و ۹۸/۲۷ ٪ به دست آمده است. ضریب کاپای کلی نیز ۹۸/۷۹ درصد به دست آمده است (جدول ٤).

به‌منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۳۷۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی، با واقعیت مکانی در منطقه موردمطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت. براساس صحت سنجی میدانی، خروجی مدل در ۳۲٦ نقطه صحیح و در ٤٤ نقطه نادرست بوده است. نتیجه صحت سنجی نشان می‌دهد که در ۸۸٪ نقاط کنترل زمینی، خروجی حاصل از مدل با واقعیت مطابقت داشته و مطابقت مطلوبی با ضریب کاپای مدل دارد. جزئیات عدم تطابق مشاهدات میدانی در جدول ۳ و ضرایب صحت سنجی مدل در جدول ٤ آمده است. براساس نتایج مشخص گردید اصلی‌ترین عدم تطابق بین دو واحد دشت و رودخانه به تعداد مجموع ۱۹ نقطه است.



شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی و کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸



شکل ٤- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۱۸ (راست) در مقابل خروجی مدل CA مارکف (چپ)

با توجه به دقت و صحت خروجی مدل CA مارکف، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه شده است (شکل ۵). سپس سه واحد رودخانه، سازه‌های ساخت انسان و دشت در دو نقشه سال ۲۰۱۸ و پیش‌بینی ۲۰۳۰ برازش داده شد و تغییرات محتمل در محیط رودخانه طی بازه زمانی ۱۲ ساله به دست آمد (شکل ۵).

جدول ۳- جزئیات عدم تطابق مشاهدات در نقاط کنترل زمینی با خروجی مدل

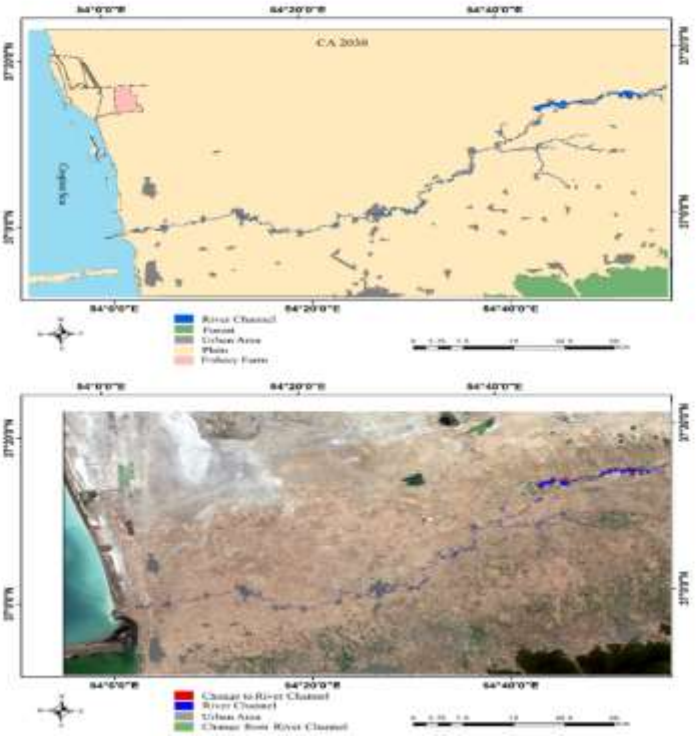
کاربری مشاهداتی	کاربری مدلسازی	تعداد نقاط
جنگل	دشت	۵
دشت	رودخانه	۱۰
رودخانه	دشت	۹
دشت	تأسیسات ساخت انسان	۷
دشت	دریا	۱۰
تأسیسات ساخت انسان	دشت	۳

با استفاده از این نقشه، مناطق دارای پتانسیل تغییرات شدید در مسیر رودخانه شناسایی شد (شکل ٦). این محدوده به طول ۲۳ کیلومتر نواحی پیرامون دریاچه سد وشمگیر، از اراضی روستا قزاقلی تا سد را شامل شده و روند تغییرات به‌گونه‌ای خواهد بود که واحدهای پیرامون آن دستخوش فرآیندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و رسوبگذاری خواهند بود. پهنه‌های دارای مخاطره فرسایش و آبگرفتگی (شکل ٦-قرمز رنگ) در جنوب قزاقلی،

ســاحل جنوبی رود در شــمال بی بی شــیروان و شــمال یارتی قایه مشخص شده‌اند. همچنین ساحل جنوبی رود در شــمال یاســی تپه، ســاحل شمالی رود در شمال بی‌بی شیروان و اراضی حدفاصل بی بی شیروان تا یارتی قایه دارای قابلیت رســوبگذاری (شکل ٦- سبز رنگ) و خروج از آب در پهنه‌های تحت تأثیر دریاچه سد وشمگیر خواهند بود. بر این اســاس مشــخص می‌شــود که بیشترین قابلیت مخاطره فرسایش و آبگرفتگی در اراضی ساحل شمالی دریاچه ســد وشمگیر وجود داشته و در مقابل، اراضی جنوبی دارای قابلیت رسوبگذاری هستند. مصفایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز نتیجه گرفته‌اند که حجم رســوبگذاری ذرات گل در محدوده دریاچه ســد وشــمگیر، باتوجه به بافت ریزدانه بار رسوبی گرگانرود قابل توجه بوده که این امر موجب تغییرات در موقعیت ساحل دریاچه سد می‌شود.

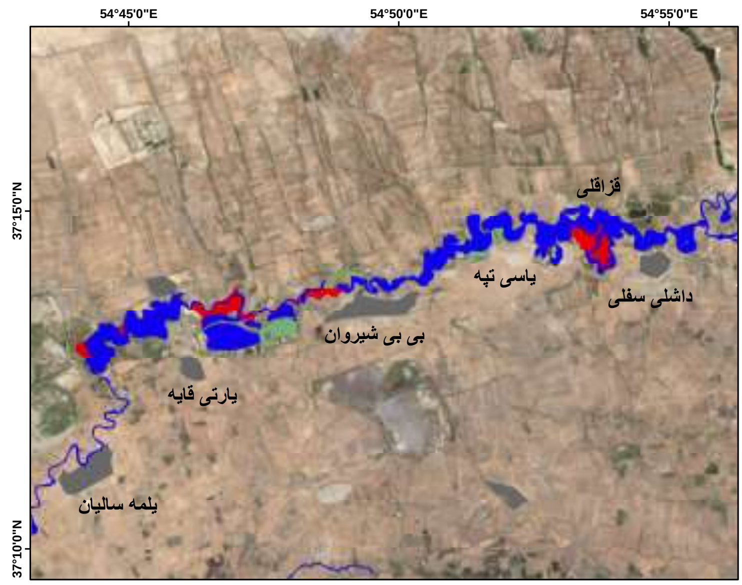
جدول ٤- ضرایب صحت سنجی طبقه‌بندی در سه بازه زمانی موردمطالعه

خطای حذف شده (٪)	دقت کاربر (٪)	خطای گماشته (٪)	دقت تولیدکننده (٪)	ضریب کاپا در سه دوره (٪)			واحد طبقه‌بندی
				۲۰۱۸	۲۰۰۲	۱۹۸۷	
۱۲/۱۷	۸۷/۸۳	۹	۹۱	۹٦/٦۰	۸۳/۸۲	۹٦/۹۹	رودخانه
۳۲/۱۲	٦۷/۸۸	۳۳/۳	٦٦/۷	۹۸/۸٤	۷۷/۰۱	۹۹/٤۲	دریا
۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۹۹/۷٦	۹۹/۷۱	۹۹/۲۱	جنگل
۱۹/۷٥	۸۰/۲٥	۱۷	۸۳	۹۹/۲۱	۹٦/۱۸	۹۸/۲۷	دشت
۹/۳	۹۰/۷	۷	۹۳	۹٦/٦٤	۹۹/۸۸	۹۹/۸٦	تأسیسات ساخت انسان
				۹۸/۰۸	۸۹/۰۹	۹۸/۷۹	ضریب صحت کلی



شکل ۵- بالا: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۳۰ خروجی مدل CA مارکف.

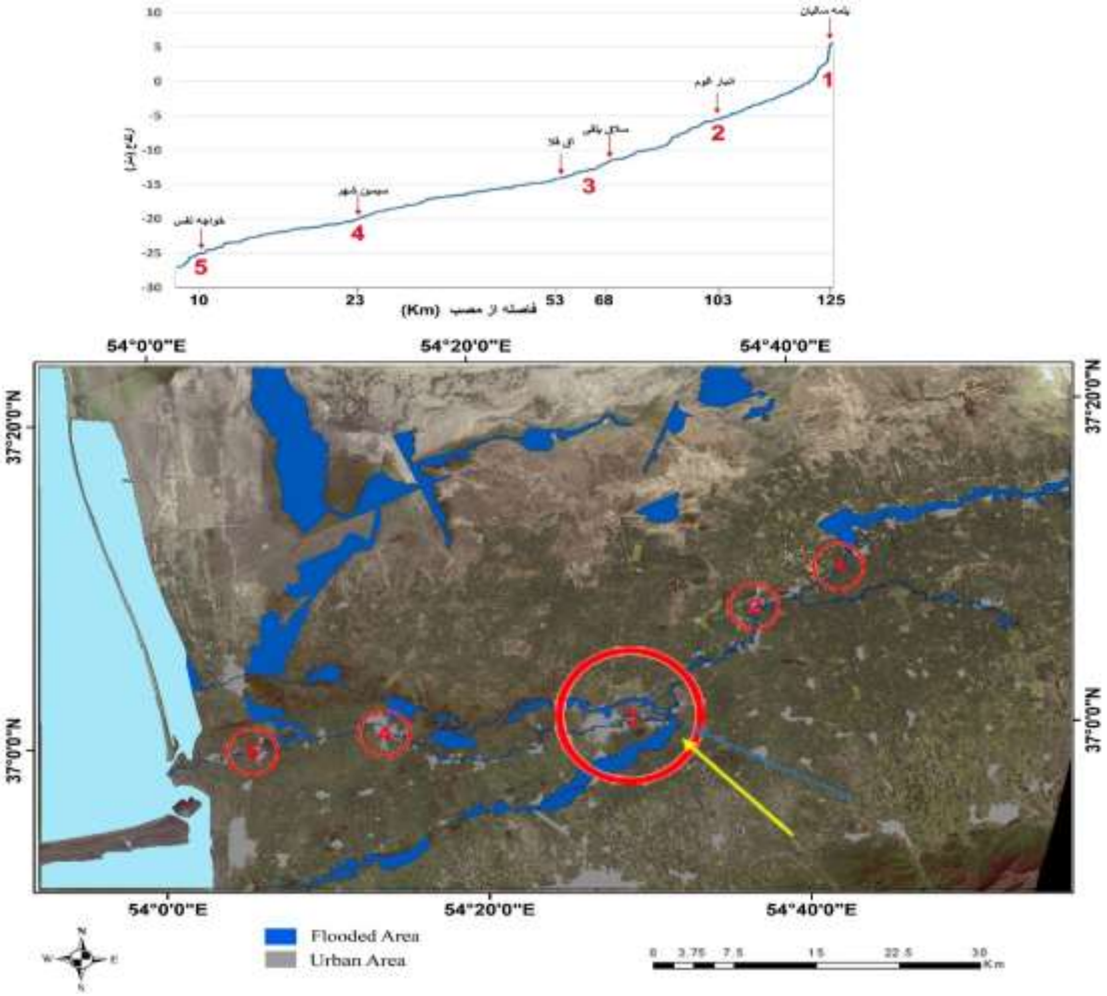
پایین: نقشه پیش‌بینی تغییرات محتمل در محیط رودخانه تا سال ۲۰۳۰



شکل ٦- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه گرگانرود در محدوده تحت تأثیر از دریاچه سد وشمگیر

ازجمله آثار سدهای مخزنی روی رودخانه، تجمع و رسوبگذاری آب در مخزن و درنتیجه، کاهش گل آلودگی و افزایش ظرفیت نگهداری رسوب جریان در دریاچه سد است. به همین دلیل معمولاً بلافاصله در پایاب سدهای مخزنی، رودخانه دارای ویژگی‌های فرسایندگی بوده و با کف‌کنی بار رسوبی خود را افزایش می‌دهد و پس از رسیدن به بخش‌های انتهایی که شیب نیمرخ طولی بسیار اندک می‌باشد، رسوبات ته‌نشین شده و این امر موجب کاهش ضریب آبگذری در بخش انتهایی رودخانه می‌شود (مصفایی و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش ضریب آبگذری بخش انتهایی رودخانه، عامل مهمی در عدم تخلیه سیلاب از کانال رود به دریای خزر بوده و این پدیده در تمام رویدادهای سیلاب موجب آب‌گرفتگی مناطق دشت ساحلی از آق‌قلا تا خواجه نفس شده است. دیگر عامل مؤثر در تغییر شیب هیدرولیکی رودخانه‌های منتهی به دریای خزر، تغییر در تراز آب این دریا است (معصومی و همکاران، ۱٤۰۰). با توجه به پیش‌بینی افزایش سطح تراز آب دریای خزر، طبیعتاً سطح اساس رودخانه نیز بالاتر خواهد بود. این امر موجب کاهش هرچه بیشتر شیب هیدرولیکی رودخانه و تشدید عدم تخلیه آب در هنگام وقوع سیلاب از کانال رودخانه گرگانرود خواهد شد. این پدیده موجب سرریز آب از کرانه‌های رودخانه، بخصوص در نواحی نزدیک به مصب، در دلتای گرگانرود خواهد شد (شکل ۷، بخش ۵). در این زمینه و به‌منظور بررسی نحوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب، نقشه پهنه‌های تحت نفوذ سیلاب اسفند ۱۳۹۷- فروردین ۱۳۹۸ تهیه شد. سپس نقاط حساس در این نقشه با نیمرخ طولی رودخانه در بازه‌ای به طول حدود ۱۲۵ کیلومتر از پایین‌دست سد وشمگیر تا مصب، مورد تدقیق قرار گرفت (شکل ۷). گنجی و همکاران (۱٤۰۰)، میزان شیب طولی رودخانه گرگانرود در محدوده بالادست و پایین‌دست شهر آق‌قلا را ۲ تا ۳ در هزار تعیین نموده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین ایشان مورفولوژی رودخانه در این محدوده را پیچانرود شدید تعیین نموده‌اند. نتایج تحقیق حاضر نشان داده متوسط شیب کلی کانال رودخانه گرگانرود در پایین‌دست سد وشمگیر ۰/۰۳ درصد است. متوسط شیب کانال رودخانه از خواجه نفس تا سیمین شهر (شکل ۷: بخش ٤ تا ۵) و سلایق یلقی تا انبار آلوم (شکل ۷: بخش ۲ تا ۳)، برابر با متوسط شیب کلی بازه (۰/۰۳ درصد) و در مقابل، شیب متوسط کانال رودخانه در حدفاصل سیمین شهر تا سلاق یلقی (شکل ۷: بخش ۳ تا ٤) کمتر از متوسط کلی و به میزان ۰/۰۲ درصد می‌باشد. همچنین متوسط شیب کانال گرگانرود از یلمه سالیان تا انبار آلوم (شکل ۷: بخش ۱ تا ۲) ۰/۰۵ درصد است. نتایج نشان داد که کمترین شیب کانال، در حدفاصل سلاق یلقی تا سیمین شهر بوده و این امر موجب کاهش سرعت جریان رو به پایین‌دست در این محدوده می‌گردد. لذا در هنگام وقوع سیلاب و جریان با دبی بالاتر از حداکثر توان عبور دهی کانال، در این بخش همواره بیشترین احتمال آبگرفتگی وجود دارد. در کنار این مورد، کاهش شیب طولی از انبار آلوم به سلاق یلقی و ورود سرشاخه فرعی از ارتفاعات البرز به گرگانرود، در حدفاصل سلاق یلقی تا آق‌قلا (شکل ۷، فلش آبی رنگ)، موجب تشدید آبگرفتگی و ایجاد جریان معکوس از رودخانه به شاخه فرعی می‌شود. تحقیقات مصفایی و همکاران

(۱۳۹۹) و بیت الهی (۱۳۹۸) نیز وقوع این پدیده را نشـان داده است. در این منطقه، با فاصله‌ای حدود ۲۵۰ متر، یکی از سـرشاخه‌های فرعی قره‌سو به سمت شمال و غرب جریان دارد (شکل ۷، فلش زرد رنگ). وقوع جریان برگشتی در گرگانرود موجب سـرریز شدن سیلاب شده و جریان سیلاب گرگانرود با قره‌سو پیوسته شده و در مسیر این رود، موجب سـیل‌گیری اراضـی شـمال گرگان، قره‌تپه و جنوب بندر ترکمن می‌گردد. چنین پدیده‌ای در سیل اسفند ۹۷– فروردین ۹۸ سـبب تشدید سیلاب در اراضی پیرامون قره‌سو با تراز ارتفاعی حدود ۱۳– متر شده است (شکل ۷). در صـورت افزایش تراز آب دریای خزر پس‌زدگی و ایجاد جریان برگشـتی، به سطوح ارتفاعی بالاتر نیز کشیده خواهد شد. بدین ترتیب احتمال این مخاطره در نواحی بالادست آق‌قلا نیز ایجاد خواهد شد. احداث دیوار ساحلی و افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های این دو سرشاخه می‌تواند از تداخل جریان آن‌ها جلوگیری نموده و نقش قابل‌توجهی در کاهش مخاطره سـیل‌گیری اراضـی پیرامون قره‌سـو داشته باشد. بدیهی است این امر نیازمند انجام پژوهش‌های تخصصی در زمینه مهندسـی رودخانه و سـازه‌های حفاظتی مرتبط می‌باشد. نتایج پهنه‌بندی سیلاب فروردین ۱۳۹۸ نشان داد که در منطقه سـلاق یلقی– آق‌قلا، (شـکل ۷، بخش ۳) علاوه بر خروج سـیلاب گرگانرود به قره‌سو، بخشی از جریان آب با سرریز از کرانه‌های رود، از شمال قره‌سو به سمت گمیش تپه جاری شده است. براساس شواهد تصاویر ماهواره‌ای و مشـاهدات میدانی، این مسـیر منطبق بر کانال‌های متروک و آبراه‌های قدیمی گرگانرود است. کانال‌ها و پیچانرودهای متروک در این مسـیر، اراضی گود افتاده‌ای را به وجود آورده‌اند که سیلاب به سمت آن‌ها جریان یافته و از این طریق در دشت شمالی گرگانرود پخش می‌شود.



شکل ۷- نیمرخ طولی (بالا) و پهنه‌های متأثر از سیلاب در تاریخ ۱٤ فروردین ۱۳۹۸ رودخانه گرگانرود (پایین) و مسیر شاخه فرعی گرگانرود (فلش آبی) و سرشاخه قره‌سو (فلش زرد)

فعالیت‌های انسانی از قبیل راه‌آهن و راه‌ها به‌صورت متقاطع با مسیر جریان ذکر شده، موجب گسترش سیلاب در دشت شمالی گرگانرود می‌گردد. نفوذ سیلاب از بخش شمالی شهرهای آق‌قلا (شکل ۷، بخش ۳) و سیمین شهر (شکل ۷، بخش ٤) در سیل فروردین ۱۳۹۸، در اثر جریان سیلاب از مسیر یاد شده و تحت تأثیر سازه‌های تقاطعی صورت گرفته است. جریان سیلاب در این مسیر، پس از عبور از اراضی شمال سیمین شهر، به سمت گمیش تپه جریان یافته و در شرق گمیش تپه به دو بخش تقسیم شده است. بخشی از جریان از طریق آبراهه‌های زهکشی، از شهر گمیش تپه به تالاب گمیشان را یافته و بخش دیگر در اراضی پست شرق و شمال شرق این شهر گسترده شده است. بیت الهی (۱۳۹۸) بیان داشته که شکافتن مسیر راه‌آهن در چندین نقطه در محدوده آق‌قلا در کاهش ارتفاع آب

جمع شــده در شهر مؤثر بوده است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در سیل فروردین ۱۳۹۸ بخش قابل‌توجهی از جریان ســیلاب گرگانرود، از طریق این مســیر تخلیه شــده اســت. لذا لایروبی، مسیر سازی و اصلاح تقاطع راه‌ها و راه‌آهن با این مســیر سیلابی و احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب به اراضی شمالی گمیش تپه می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در مناطق پایین‌دست سد وشمگیر باشد.

۵- جمع‌بندی

وقوع ســیل در دشــت گرگانرود و تکرار هرساله آن، یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی در این منطقه است. در این میان عدم تخلیه جریان ســـیلاب از رودخانه تحت تأثیر تغییرات مورفولوژی کانال و تراز آب دریای خزر عوامل مهم در ســیل‌خیزی هســتند. با توجه به تغییرات دائمی در تراز آب دریای خزر، فرآیندهای رودخانه‌ای و فعالیت‌های انســانی، شــناســایی تغییرات رودخانه و پیش‌بینی آن بســیاری ضــروری اســت. تحقیق حاضر در راستای این اهداف صورت گرفت و مباحث ذیل از آن نتیجه‌گیری شد.

– مدل تلفیقی CA مارکوف، قابلیت مناســبی از نظر دقت و صــحت در پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه گرگانرود نشان داد.

– بیشترین احتمال تغییرات در منطقه موردمطالعه در واحدهای رودخانه، دشت و تأسیسات ساخت انسان پیرامون دریاچه ســد وشــمگیر، از اراضی روستا قزاقلی تا سد وجود دارد. روند این تغییرات در این نواحی به‌گونه‌ای خواهد بود که اراضــی جنوبی پیرامون رودخانه دســتخوش فرآیندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و سیل‌گیری خواهند شد. در مقابل اراضی شمالی غالباً تحت روند رسوبگذاری قرار خواهند داشت.

– با توجه به شیب هیدرولیکی بسیار کم گرگانرود در نواحی پایین‌دست سد وشمگیر، عدم تخلیه سیلاب و ایجاد جریان دبی معکوس، یکی از پدیده‌های مهم در بالا آمدن تراز رودخانه و طغیان آب به اراضی پیرامون آن می‌باشد. در سیل فروردین ۱۳۹۸، عمق نفوذ این پدیده تا محدوده بین سلاق یلقی و آق‌قلا (ارتفاع حدود ۱۳– متر) بوده و موجب تداخل سیلاب گرگانرود و سرشاخه‌های قره‌سو شده است. لذا در صورت افزایش تراز آب دریای خزر، این مخاطره به اراضی با تراز ارتفاعی بالاتر نیز اثرگذار خواهد بود.

– براساس نتایج پهنه‌بندی سیل فروردین ۱۳۹۸، جریان آب علاوه بر کانال گرگانرود از طریق قره‌سو در جنوب و مســیر کانال‌های متروک گرگانرود در شــمال آن تخلیه طبیعی شــده اســت. انجام پژوهش‌های تخصــصــی در زمینه مهندسی رودخانه و سازه‌های حفاظتی مرتبط در قالب دیوار ساحلی و افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های بین سرشاخه‌های گرگانرود و قره‌ســو می‌تواند از تداخل جریان در آن‌ها جلوگیری نموده و نقش قابل‌توجهی در کاهش مخاطره ســیل گیری اراضــی پیرامون قره‌ســو داشته باشد. همچنین احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب از مسیر کانال‌های متروک

گرگانرود که از اراضـی شمال آق‌قلا و سیمین شهر عبور می‌کند، می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در این مناطق باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسـیله از همکاران گروه مهندسـی رودخانه و سـواحل پژوهشـکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای تحقیق قـدردانی می‌گردد. این پژوهش برگرفتـه از نتـایج طرح تحقیقـاتی پیش‌بینی رونـد تغییرات مورفولوژی رودخانه‌های مناطق سـاحلی شـمال کشـور با کد ۰-۲۹-۲۹-۰۲۳-۹۷۰۵۳۵ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد.

کتابنامه

بیت الهی، علی؛ ۱۳۹۸. گزارش سـیل گلسـتان، ۲۸-۱۲-۱۳۹۷. مرکز تحقیقات راه، مسـکن و شـهرسـازی. ص ۴۲. http://sapla.ir/Pdfs/HazardReportsPdfs/

قاسـمی، محمدرضـا؛ محمدخانی، حسـین؛ یدالهی، عطا؛ ۱۳۸۶. چینه‌شـناسـی و زمین‌شناسی کواترنری دشت هیرکان (دشت گرگان). بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. تهران. https://civilica.com/doc/40131

کاردان، نازیلا؛ حسـن‌زاده، یوسـف؛ ارزنلو، ابوالفضـل؛ ۱۳۹۶. شـبیه‌سـازی دوبعدی جریان‌های سیلابی شهری با مدل (CCHE2D) مطالعه موردی: شهر آق‌قلا. دریا فنون. سال چهارم. ۲۵-۳۶. http://ijmt.iranjournals.ir/article_30604.html

گنجی، کامران؛ قره چلو، سـعید؛ احمدی، احمد؛ ۱۴۰۰. تعیین عوامل مؤثر بر سـیل‌خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سـیلاب شـهرسـتان آق‌قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP . جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۴۰. DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2020.67016.0

مزیدی، مریم؛ خوش روش، مجتبی؛ ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی سـیل در حوضـه گرگانرود با اسـتفاده از آنالیز مرتبه اول هیدرولوژیک بارش-رواناب. پژوهش‌های کاربردی علوم آب. ۲(۲) ۳۵-۴۴. https://www.virascience.com/paper/

مصـفایی، جمال؛ غریب رضـا، محمدرضـا؛ گرشاسبی، پرویز؛ صالح پور جم، امین؛ ۱۳۹۹. نشریه فنی: گزارش بازدید سیل و آب‌گرفتگی‌های نوروز ۱۳۹۸ استان گلستان. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ص ۳۴.

معصـومی، حمیدرضـا؛ حبیبی، علیرضـا، غریب رضـا، محمدرضـا؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی مورفولوژی رودخانه‌ها و سیلاب منطقه دشتیاری برای ۲۰۳۰. مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۱۳. شماره ۳. ۸۳۸-۸۴۹. 10.22092/IJWMSE.2021.352118.1842

معصومی، حمیدرضا؛ حبیبی، علیرضا، قدرتی، علیرضا؛ ۱۴۰۰. مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر در تغییرات مسیر جریان رودخـانـه سـفیـدرود برای پیش‌بینی افق ۲۰۳۰. جغرافیـا و مخـاطرات محیطی. دوره ۱۰. شـمـاره۱. ۸۱-۹۷. 10.22067/GEOEH.2021.68445.1012

یوسفی، عبدالرضا؛ ۱۳۸٤. فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز استان گلستان. انتشارات امور آب استان گلستان. ص ۷۳.

Medel, I. D., Stubblefield, A. P., Sheam C., 2020. Sedimentation and erosion patterns within anabranching channels in a lowland river restoration project. International Journal of River Basin Management, DOI: 10.1080/15715124.2020.1809435

Mirzaeizadeh, V, Niknwzhad, M., Ouladi, J., 2015. Evaluating non-parametric supervised classification algorithms in land cover map using LandSat-8 Images. Journal of RS and GIS for natural resources, Vol. 6, No. 3, 29-44. https:// girs.iaubushehr.ac.ir/ article_516794. html? lang=en

Mondal S, Sharma N, Kappas M, Garg P K., 2020. Cellular automata (CA) contiguity filters impacts on CA Markov modelling of land use land cover change predictions results. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLIII, B3, 1585–1591. https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B3-2020

Morais ES, Rocha P C, and Hooke., J. 2016. Spatiotemporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil, Geomorphology, 273:348-360. 10.1016/j.geomorph.2016.07.026

Muller M R., Middleton J., 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, and Canada. Landscape Ecology, 9, 151-157. https:// link.springer.com/ article/10.1007/BF00124382

Pal M, Mather P M., 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. International Journal of Remote Sensing, 26 (5), 1007-1011. doi.org/ 10.1080/ 014311605 12331314083

Sang L, Zhang C, Yang J, Zhu D, Yun W., 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. Mathematical and Computer Modelling, 10, 883-848. DOI: 2002022/j.mcm.10200220028.

Subedi P, Subedi K, Thapa B., 2013. Application of a Hybrid Cellular Automation Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. Applied Ecology and Environmental Sciences, 16, 126-132. DOI: 10.12691/aees-1-6-5

Zhang F, Tiyip T, Feng ZD, Kung H-T, Johnson V C, Ding JL, Tashpolat N, Sawut M, Gui DW., 2015. Spatio-temporal patterns of land use/cover changes over the past 20 years in the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. Land Degradation and Development, 26,284- 29. https:// onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2206